



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

APLICAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO DE CONFORTO TÉRMICO URBANO NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO ADENSAMENTO PREVISTO PELA L.U.O.S. NUM BAIRRO DE BELO HORIZONTE, MG

Eleonora Sad de Assis (1); Priscilla Tatiani Francisco (2)

(1) Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo – Escola de Arquitetura

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil – e-mail: elsad@arq.ufmg.br

(2) Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

e-mail: priscillatiani@yahoo.com.br

RESUMO

Os adensamentos previstos pelas Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) são aplicados normalmente sem o subsídio de estudos climáticos nas regiões. A ocupação urbana acaba por provocar mudanças no clima local, que podem resultar em sérias consequências para o conforto térmico e saúde humanos, a manutenção e eficiência energética dos edifícios, o aumento do risco de enchentes, entre outros. Para a compreensão do comportamento climático de recintos urbanos, métodos preditivos podem ser aplicados, contribuindo para um planejamento urbano mais eficiente. Este trabalho aborda a aplicação de um modelo preditivo empírico de conforto térmico urbano na região do bairro Floresta, área pericentral da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. A técnica de cenários futuros foi usada para gerar os parâmetros de desenvolvimento urbano da área, baseados nos índices de adensamento e verticalização previstos pela atual LUOS da cidade. A partir de medições locais de temperatura do ar e umidade relativa em vários pontos no bairro e do cálculo, em alguns desses pontos, do parâmetro de massa construída (*mc*), foram determinadas equações correlacionando a variação dos parâmetros climáticos com o espacial. A previsão do desenvolvimento urbano pelo cenário futuro do bairro permitiu a estimativa das alturas e áreas projetadas das novas edificações dentro da fração urbana compreendida pelos pontos em análise, o que deu base ao cálculo das novas condições da *mc*. Os resultados constituem uma base para a discussão e avaliação do impacto das construções na mudança do clima urbano local e nas condições de conforto térmico, gerando subsídios para a revisão e aperfeiçoamento da legislação.

Palavras-chave: conforto térmico urbano; planejamento urbano; cenários futuros; massa construída.

ABSTRACT

The urban land use and occupation laws (LUOS) normally make the urban areas denser without the subsidy of the climatic studies. So the urban development ends up by promoting changes on the local climate which may lead to serious consequences for the human thermal comfort and health, the maintenance and energy efficiency of buildings, the increase of the flood risks, etc.. Predictive methods may be then applied to a better understanding of the climate aspects in urban areas assisting a more adequate urban planning. This paper focuses on the application of an empirical predictive model for the urban thermal comfort in the Floresta District at the city of Belo Horizonte, Minas Gerais. The technique of future scenes was used to generate the local urban development parameters from the current LUOS indexes of growth. Equations were determined correlating the climatic parameters with the space ones using measurements of the air temperature and relative humidity in some points in the district and the calculation of the building mass (*mc*) parameter in the same points. The area future development was also considered allowing to estimate the new buildings heights and projected areas in the studied points. These projections were used for the calculation of the new conditions of *mc*. The

results may be a base to the discussion and evaluation of the impacts caused by the area development on the local urban climate changes and on the thermal comfort conditions, bringing subsidies for the revision and improvement of the legislation.

Keywords: urban thermal comfort; urban planning technique of future scenes; building mass.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das aglomerações urbanas vem modificando a paisagem e gerando impactos ambientais que podem ser percebidos em todas as partes do mundo. Dentre esses impactos, aqueles relacionados à atmosfera somente começaram a ser mais estudados a partir dos anos 1970. Um dos principais indicadores da mudança climática local causada pelas estruturas urbanas é o aumento da temperatura do ar nas áreas mais densas, fenômeno observado principalmente durante o período noturno e que se convencionou chamar de *ilha de calor urbana* (OKE, 1982). A ilha de calor urbana é o resultado da alteração do balanço energético local, onde os tipos e arranjos das superfícies urbanas, a impermeabilização do solo e a geração de calor antropogênico acabam provocando a redução das perdas térmicas por resfriamento evaporativo e convectivo, aumentando o fluxo térmico de calor sensível e favorecendo o estoque de calor nas estruturas urbanas.

Apesar de se constatar essa mudança climática nas cidades em todas as regiões estudadas, bem como que tais mudanças podem resultar em sérias consequências para o conforto térmico e saúde humanos, a manutenção e eficiência energética dos edifícios, o aumento do risco de enchentes, entre outros, o desenvolvimento das cidades e, mais especificamente o de Belo Horizonte, vem ocorrendo sem o subsídio de estudos climáticos.

Para a compreensão do comportamento climático de recintos urbanos, métodos preditivos podem ser aplicados, contribuindo para um planejamento urbano mais adequado à preservação da qualidade físico-ambiental. Este trabalho aborda a aplicação de um modelo preditivo empírico de conforto térmico urbano na região do bairro Floresta, na cidade de Belo Horizonte, MG. Os resultados mostram não apenas a influência das legislações construtivas, entre elas as de uso e ocupação do solo (LUOS), nas condições de conforto térmico urbano, mas também os efeitos das condições de desenvolvimento previstas através de cenários futuros, indicando a necessidade de um monitoramento contínuo das condições ambientais urbanas para subsidiar a tomada de decisão em planejamento e projeto urbanos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um procedimento para a previsão dos possíveis impactos ambientais causados pela mudança nas condições de ocupação a partir do adensamento previsto pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (BELO HORIZONTE, 1996) para o local.

3 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Belo Horizonte está situada na latitude de 19°55' sul e longitude 43° 56' oeste, com altitude média de 852 metros acima do nível do mar. Está inserida no domínio do clima tropical de altitude com distinta estação chuvosa no verão e inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual normal é de 21,1°C, a umidade relativa média anual normal é de 72,2% e a velocidade média dos ventos dificilmente ultrapassa os 2 m/s ao longo do ano.

O bairro Floresta, selecionado como estudo de caso (figura 1), é adjacente ao hipercentro da cidade, possuindo diversas barreiras para sua ligação ao centro, causadas por uma topografia acidentada (figura 1C) e a presença da linha férrea em seu limite sul. Essas barreiras resultaram numa dissociação do bairro com o centro, gerando um desenvolvimento comercial da área. Essa tendência de ocupação comercial foi reforçada pela legislação de 1976, que estipulou altos coeficientes de aproveitamento e taxas de ocupação. Embora o número de edifícios altos ainda seja pequeno, em função da dificuldade de negociações simultâneas com vizinhos para agrupar lotes para construções maiores, tem ocorrido

nos últimos anos uma intensificação das atividades comerciais e de prestação de serviços, ainda que conservando as tipologias originais de construção. Acrescente-se a isso o fato de o bairro ter um acervo considerável de edifícios tombados pelo patrimônio histórico (figura 2).

Apesar disso, atualmente a área é classificada pela LUOS como Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), recebendo um dos maiores coeficientes de aproveitamento da cidade (1,7), levando à região um grande potencial de adensamento. Isso pode acelerar o processo de verticalização, levando à preocupação quanto ao comprometimento das áreas intersticiais que ainda apresentam boa qualidade ambiental, inclusive com relação ao conforto térmico e às condições de ventilação urbana.

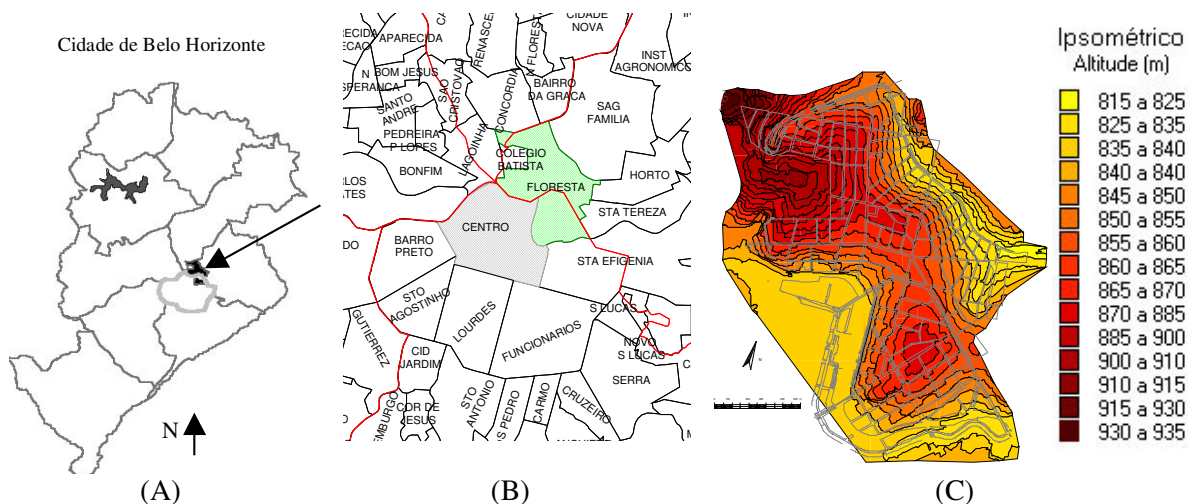


Figura 1 - Localização do Bairro Floresta no município (A); o Bairro Floresta em relação ao centro da cidade (B) e mapa hipsométrico do bairro (C). Fonte: Teixeira *et al* (2000)

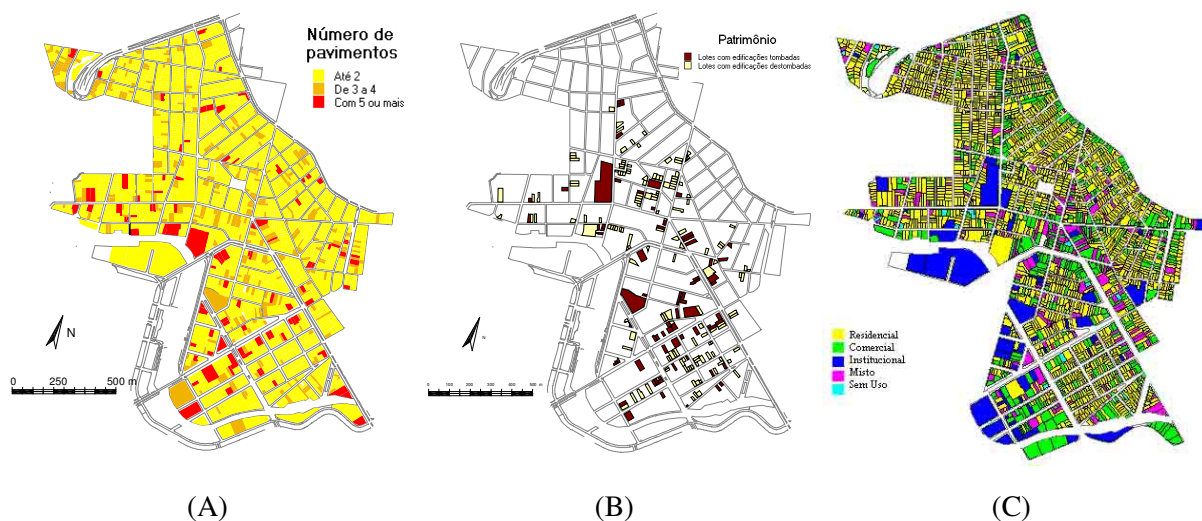


Figura 2 - Mapa de verticalização da área (A); mapa de patrimônio tombado (B) e mapa de uso e ocupação do solo (C). Fonte: Teixeira *et al* (2000)

Na aplicação da técnica de cenários futuros na área, foram previstos dois contextos macroeconômicos, abrangendo o período de 2000 a 2010. No primeiro deles, denominado CONTEXTO A, o Brasil se desenvolve, mas as políticas urbanas de descentralização não se concretizam em Belo Horizonte. O mercado imobiliário passa a exercer grande pressão sobre a área de estudo. Nesse cenário, o bairro sofre não só os efeitos do seu próprio crescimento, mas também do adensamento do entorno e da sua área de influência. A boa fase brasileira também implica no aumento do ritmo das construções e no número de veículos na área, bem como no consumo de energia. No segundo cenário macroeconômico, chamado de CONTEXTO B, o Brasil sofre uma estagnação, mas a cidade consegue efetivar as políticas urbanas de descentralização das atividades e do transporte. O mercado exerce menor pressão sobre a área de estudo. O bairro sofre basicamente o impacto do seu desenvolvimento interno, podendo inclusive melhorar em alguns aspectos, como, por exemplo, ter reduzido o trânsito de

passagem em seu interior. O número de veículos e o consumo de energia tendem a manter os níveis atuais, só sendo aumentados em caso de acréscimo de população.

A composição entre os contextos macroeconômicos e os mapas de tendências da área gerou dois cenários de desenvolvimento local, um deles, resultante do Contexto A, onde a ocupação é intensa e um cenário intermediário, resultante do Contexto B, onde a ocupação se dará de forma mais controlada e menos impactante, mas ainda assim modificará as condições ambientais do bairro. Nesses cenários foram descartadas, portanto, as situações onde o bairro Floresta não seria alvo do mercado imobiliário, permanecendo estagnado e sem novas construções.

Estes cenários foram descritos através de mapas das variáveis relacionadas aos fatores construtivos (TEIXEIRA *et al*, 2000), divididas entre externas e internas. As variáveis externas estavam relacionadas aos vetores e tendências de crescimento da cidade. As variáveis internas, algumas delas fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, foram: os parâmetros de adensamento e ocupação previstos na LUOS; as condições de topografia e morfologia da área; a capacidade do seu sistema viário; o custo local da terra; o tamanho médio dos lotes; a dinâmica urbana (áreas tombadas pelo patrimônio e mapeamento dos lotes que receberam “habite-se” - novas construções no período de 1996 a 2000) e o mapa síntese de ruído ambiental (mapeamento dos “bolsões de silêncio” que atraem os investimentos por apresentarem boas condições ambientais).

Assim, a representação das situações de cenários futuros de ocupação foi feita através de três mapas: áreas de ocupação prioritária; de novas construções e de predomínio de uso (figura 3). A tendência de adensamento classificou as regiões do bairro de acordo com seu potencial para atrair novas construções, numa escala de 1 a 4, onde as áreas 1 têm maior poder de atração e as áreas correspondentes a 4, menor poder de atração. Já a tendência de verticalização mostra a saturação de uma área do bairro com edificações altas ou médias, ou se a tendência dentro do horizonte de estudo é de uma área manter-se com construções baixas. Por fim, a tendência de distribuição dos usos nas diversas áreas também foi relevante, onde se verifica quais delas devem concentrar atividades comerciais, manter-se residenciais ou apresentar convívio de usos.

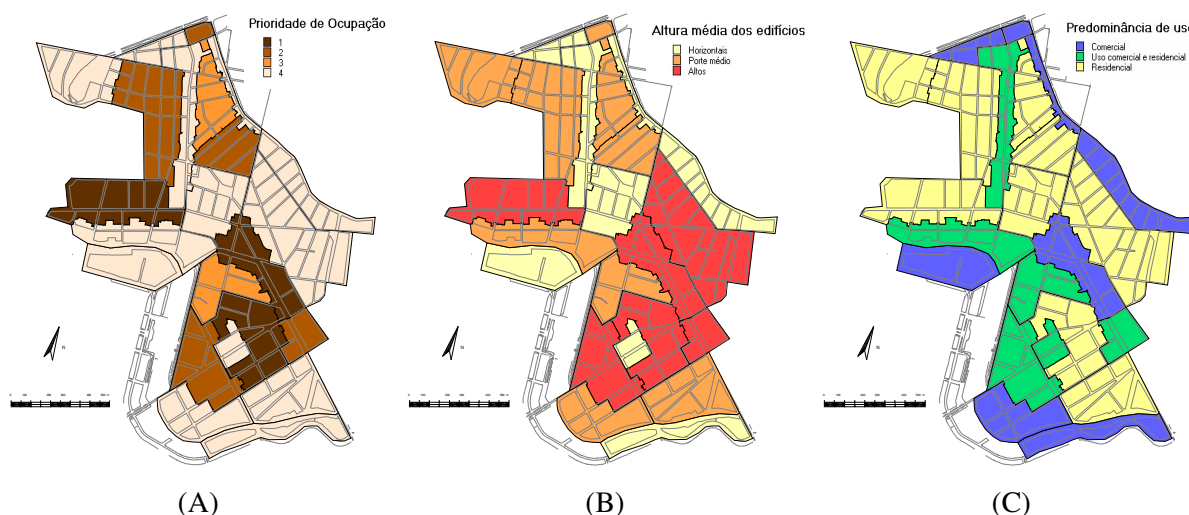


Figura 3 – Mapas de tendência de ocupação prioritária (A); de verticalização (B) e de uso (C)
Fonte: Teixeira *et al* (2000)

Também foram definidas as percentagens de ocupação, de acordo com a classificação de prioridade, ou seja, da taxa de renovação (TR) para cada cenário (Tabela 01).

Uma vez estimado o desenvolvimento e ocupação da área no período, é preciso determinar as variáveis que se relacionam com o clima local e um procedimento para estimar seu comportamento no período projetado.

Lima (2003) desenvolveu uma abordagem quantitativa e de caráter preditivo, avaliando a influência da

inércia térmica das construções na alteração do clima urbano, tomando como base o modelo apresentado por Tso et al (1991). A inércia térmica das construções, juntamente com a geometria urbana, são consideradas as principais variáveis envolvidas na alteração do balanço energético local e na mudança climática (OKE, 1981), sendo, entretanto, controláveis pela legislação urbana.

Tabela 01 - Percentagem de ocupação de acordo com a classificação de prioridade

Prioridade	TR Cenário A (a partir do contexto A)	TR Cenário B (a partir do contexto B)
1	70%	50%
2	50%	35%
3	30%	20%
4	10%	5%

Fonte: Teixeira et al (2000)

A inércia térmica é descrita no modelo de Tso et al (1991) pela variável *massa construída* (*mc*) e sua influência sobre as condições topoclimáticas¹ é abordada através da correlação com a temperatura (T) e a umidade do ar (UR) de determinadas áreas urbanas. A partir de medições em campo das variáveis climáticas² e do levantamento da *mc* no entorno dos pontos de medição, Lima (2003) desenvolveu funções de correlação linear, que podem ser aplicadas sobre a previsão de adensamento da área (Equações 01 e 02).

$$T = (8,40 \times 10^{-3} \times mc) + 23,84 \text{ (para as 19h), } r^2 = 98,59\% \quad \text{Eq. 01}$$

$$T = (1,34 \times 10^{-2} \times mc) + 17,04 \text{ (para as 05h), } r^2 = 82,86\% \quad \text{Eq. 02}$$

A relação entre a *mc* e a umidade relativa (UR) também foi encontrada (Equações 03 e 04), embora com menor índice de correlação.

$$UR = (-0,0142 \times mc) + 44,879 \text{ (para às 19h), } r^2 = 52,32\% \quad \text{Eq. 03}$$

$$UR = (-0,0324 \times mc) + 71,335 \text{ (para às 05h), } r^2 = 75,71\% \quad \text{Eq. 04}$$

4 METODOLOGIA

A figura 4 mostra o desenvolvimento do procedimento metodológico, inicialmente realizado com a coleta de dados bibliográficos sobre a área em estudo, as características climatológicas, as equações e correlações dos trabalhos anteriores, simultaneamente à coleta de dados que resultaram da aplicação da técnica de cenários futuros para o ano de 2010.

Esses resultados, somados aos parâmetros urbanísticos da cidade, foram usados para se estimar as novas alturas das edificações na área de entorno ao Ponto 4 - área escolhida para o estudo dentro do bairro, e posteriormente o Ponto 2, para efeito de comparação com o primeiro (figura 5). A determinação dessas alturas foi possível por meio de uma amostragem de lotes, que deveriam estar dentro das áreas adensáveis, ou seja, com adensamento não impedido pelo fato de ser área institucional, com presença de patrimônio tombado ou de verticalização acima de 2 pavimentos (figura 2). Os lotes adensáveis tiveram sua prioridade de ocupação determinada com a respectiva Taxa de Renovação (Tabela 01), tendo-se assim os lotes amostrais para a pesquisa.

¹ Adota-se aqui a classificação climática usada pelo prof. Carlos Augusto de F. Monteiro em sua tese de livre-docência intitulada **Teoria e Clima Urbano**, publicada em 1976.

² As medições seguiram a metodologia normalmente utilizada na pesquisa do clima urbano, utilizando-se uma estação meteorológica móvel em transectos fechados por um ponto em comum, coletando-se os dados em condições de tempo atmosférico estável, baixa nebulosidade e ventos leves (menos de 2 m/s), em três períodos durante 24h: antes do nascer do sol (ponto médio do percurso às 5h), no horário mais quente do dia (ponto médio às 15h) e depois do por do sol (ponto médio do percurso às 19h). Uma descrição do procedimento encontra-se em Santos et al (2003).

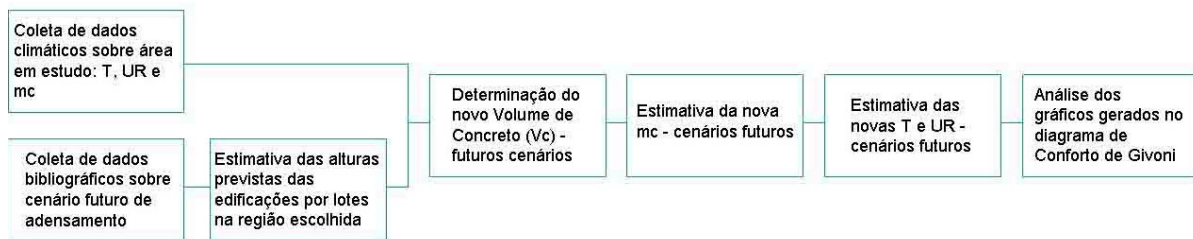


Figura 4 – Esquema metodológico do trabalho

Com a determinação dos dados amostrais e de alguns parâmetros urbanísticos aplicados à região, foram estimadas as alturas das construções em cada lote adensável de cada quadra dentro da área de influência do Ponto em estudo, através da elaboração de uma planilha de cálculo, como mostra a figura 6.

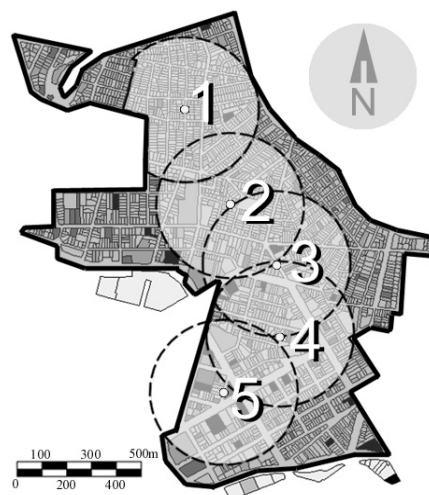


Figura 5 – Mapa com os pontos determinados. Fonte: Lima (2003)

Quadra 1

Lote	CA	A (m ²)	L (m)	P (m)	Ac (m ²)	Afr (m)	Ale (m)	Ald (m)	Afn (m)	Lp (m)	Pp (m)	Ap (m ²)	no. Pav	H (m)
2	1,7	469,65	11,54	39,83	781,4	4,00	2,55	3,00	2,55	5,99	33,28	199,35	3	9
3	1,7	237,67	15,61	15,23	404,0	4,00	2,55	3,00	2,55	10,06	8,68	87,28	4	12
5	1,7	221,44	13,17	16,82	376,5	4,00	2,55	3,00	2,55	7,62	10,27	78,21	4	12
6	1,7	233,98	13,50	17,33	397,8	4,00	2,55	3,00	2,55	7,95	10,78	85,71	4	12
7	1,7	242,46	9,28	26,13	412,2	4,00	2,55	3,00	2,55	3,73	19,58	73,00	5	15

Obs.1: PO = 2

Obs.2: 50% taxa de renovação A em azul; 35% taxa de renovação B em amarelo; ambos em laranja

LEGENDA

A (m²) = Área total do terreno

L (m) = Comprimento do lote

Ac (m²) = Área construída

P (m) = Profundidade do lote

Ald (m) = Afastamento lateral direito

Afr (m) = Afastamento frontal

Afn (m) = Afastamento de fundo

Pp (m) = Profundidade projetado do lote

Lp (m) = Comprimento projetado do lote

Ap (m²) = Área de projeção

no. Pav = Número de pavimentos preditivo

H (m) = Altura preditiva

Figura 6 – Exemplo da estimativa das alturas futuras das edificações em uma quadra

O próximo passo foi a estimativa do *volume de concreto* (Vc) para cada cenário (Equações 05 a 09) e posteriormente a determinação da nova mc (figura 7).

$$h = 3 \times s \quad \text{Eq. 05}$$

onde: h é a altura total da edificação (m); 3 é a altura média do pé direito de cada pavimento (m); s é o número de pavimentos.

$$Vs = 0,15 \times Ap \times (s + 1) \quad \text{Eq. 06}$$

onde: Vs é o volume da laje (m³); 0,15 é a espessura média de cada laje (m); Ap é a área projetada (m²); s + 1 é o número total de lajes.

$$V_w = 0,20 \times 2p \times h \quad \text{Eq. 07}$$

onde: V_w é o volume de paredes externas (m^3); 0,20 é a espessura média da parede (m); $2p$ é o perímetro da edificação (m).

$$V_c = V_s + V_w \quad \text{Eq. 08}$$

onde: V_c é o volume de concreto (m^3).

Após calculado o V_c , a *massa construída* (mc) pode ser dada por:

$$mc = V_c \times \rho_c / Af \quad \text{Eq. 09}$$

onde: mc é a massa construída (kg/m^2); V_c é o volume de concreto (m^3); ρ_c é a densidade do concreto (kg/m^3); Af é a área da fração urbana (m^2).

Quadra1

Lote	CA	A (m ²)	L (m)	P (m)	Ac (m ²)	Afr (m)	Ale (m)	Ald (m)	Afn (m)	Lp (m)	Pp (m)	Ap (m ²)	no. Pav	H (m)	H x E x Pe	A x Lj x Bj	Vc (m ³)
2	1,7	459,65	11,54	39,83	781,4	4,00	2,55	3,00	2,55	5,99	33,28	199,35	3	9	184,94	275,78904	460,72
3	1,7	237,67	15,61	15,23	404,0	4,00	2,55	3,00	2,55	10,05	8,68	87,28	4	12	148,01	178,2525	326,26
5	1,7	221,44	13,17	16,82	376,5	4,00	2,55	3,00	2,55	7,62	10,27	78,21	4	12	143,93	166,083225	310,01
6	1,7	233,98	13,50	17,33	397,8	4,00	2,55	3,00	2,55	7,95	10,78	85,71	4	12	147,99	175,483875	323,48
7	1,7	242,46	9,28	26,13	412,2	4,00	2,55	3,00	2,55	3,73	19,58	73,00	5	15	212,47	218,2131	430,68

Obs.1: PO = 2

Obs.2: 50% taxa de renovação A em azul; 35% taxa de renovação B em amarelo; ambos em laranja

LEGENDA

A (m²) = Área total do terreno

L (m²) = Comprimento do lote

Ac (m²) = Área construída

P (m²) = Profundidade do lote

Ald (m) = Afastamento lateral direito

Afr (m) = Afastamento frontal

Afn (m) = Afastamento de fundo

Pp (m) = Profundidade projetado do lote

Lp (m) = Comprimento projetado do lote

Ap (m²) = Área de projeção

no. Pav = Número de pavimentos preditivo

H (m) = Altura preditiva

H x E x Pe = Altura x Espessura 20 cm x Perímetro

A x Lj x Bj = Área real x Somatória das lajes de 15 cm

Vc (m³) = Volume de concreto (H x E x Pe) + (A x Lj x Bj)

Figura 7– Exemplo da determinação dos V_c em uma quadra

Com os novos valores previstos de mc para os cenários de ocupação futura, pôde-se estimar os valores resultantes de T e UR, aplicando as Equações 01 a 04, e avaliar, usando o Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG) cada cenário em ambos os Pontos, possibilitando uma comparação dos efeitos causados em cada situação, avaliando-se os impactos sobre o topoclíma e as condições de conforto térmico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas e gráficos do DBG apresentados a seguir apresentam os resultados obtidos em cada cenário em cada um dos pontos escolhidos para estudo. Verificou-se uma tendência à verticalização das situações futuras em relação às atuais e um conseqüente aumento da temperatura nos horários considerados, em função do aumento da massa construída e da inércia térmica nos locais estudados.

Tabela 02 – Resultados estimados de massa construída (mc)

mc (kg/m ²)	PONTO 2		PONTO 4	
	Cenário A	Cenário B	Cenário A	Cenário B
	544,8	331,0	722,7	500,5

Tabela 03 – Resultados estimados de T e UR horários no Ponto 4

PONTO 4	T (°C)		UR (%)	
	Cenário A	Cenário B	Cenário A	Cenário B
05 h	26,7	23,8	47,9	55,1
19 h	29,9	28,0	34,6	37,8

Tabela 04 – Resultados estimados de T e UR horárias no Ponto 2

PONTO 2	T (°C)		UR (%)	
	Cenário A	Cenário B	Cenário A	Cenário B
05 h	24,3	21,5	53,7	60,6
19 h	28,4	26,6	37,1	40,2

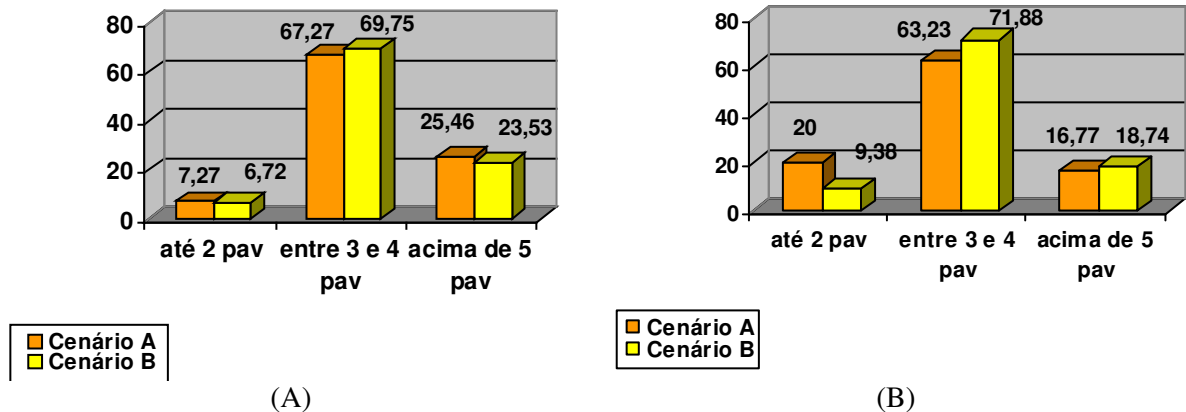


Figura 7 – Comparação percentual entre o número de pavimentos construídos no Ponto 4 (A) e no Ponto 2 (B), nos dois cenários de desenvolvimento da área

Comparando-se os valores estimados de *mc* (Tabela 02), observa-se que no Cenário A ocorrem os maiores valores em ambos os pontos estudados: 544,8 kg/m² no Ponto 2 e 722,7 kg/m² no Ponto 4.

A figura 7 descreve mais detalhadamente o crescimento urbano nestes cenários futuros, através da distribuição dos valores estimados dos números de pavimentos em cada ponto. No Cenário A seriam construídos 165 novos pavimentos na região de entorno do Ponto 4, enquanto que no Ponto 2, esse número cai para 155. Já no cenário B, a região do Ponto 4 teria 119 novos pavimentos previstos e 96 na região do Ponto 2. Esses resultados se originam da aplicação das taxas de renovação previstas na Tabela 01, sendo maiores as taxas no Cenário A do que no Cenário B.

Plotando os dados obtidos das Tabelas 03 e 04 no Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG), observa-se que, no Cenário A, as condições previstas de adensamento deverão provocar, tanto no Ponto 2 quanto no 4 uma piora sensível das condições de conforto térmico (figura 8A e C). Entretanto, como o ponto 4 corresponde a uma área mais densamente construída, as condições observadas são mais críticas do que no ponto 2, inclusive caindo fora da zona de conforto no horário após o por do sol, o que indica a importância do estoque de calor no sistema provocado pela inércia térmica, pois, durante a noite, a intensidade da perda térmica é função da quantidade de calor armazenado e disponibilizado na superfície. Considerando que essa é também uma área mais verticalizada, além da influência da inércia térmica provavelmente haverá a influência da geometria urbana, descrita pela variável fator de visão do céu, não considerada nesse trabalho.

No Cenário B, o impacto do crescimento urbano previsto sobre as condições de conforto térmico é muito menor, não havendo praticamente alteração no ponto 2, que corresponde a uma área mais aberta, com construções de menor altura e menos densa (figura 8B e D). Observa-se, entretanto, que para uma análise mais confiável, as duas variáveis de inércia térmica e geometria urbana deveriam ser consideradas conjuntamente.

De fato, Pereira (2005) demonstrou, ao integrar essas duas variáveis num modelo empírico linear para a estimativa da temperatura e umidade relativa do ar que, no caso do bairro Floresta, a influência da geometria urbana é muito mais significativa.

O horário das 15h não foi considerado nesta análise devido às baixas correlações encontradas entre as variáveis. Entretanto, é importante também estimar o que acontece durante o dia nestas áreas, assim

sendo, um maior número de experimentos de medição dos parâmetros climáticos na área de estudo precisam ser realizados.

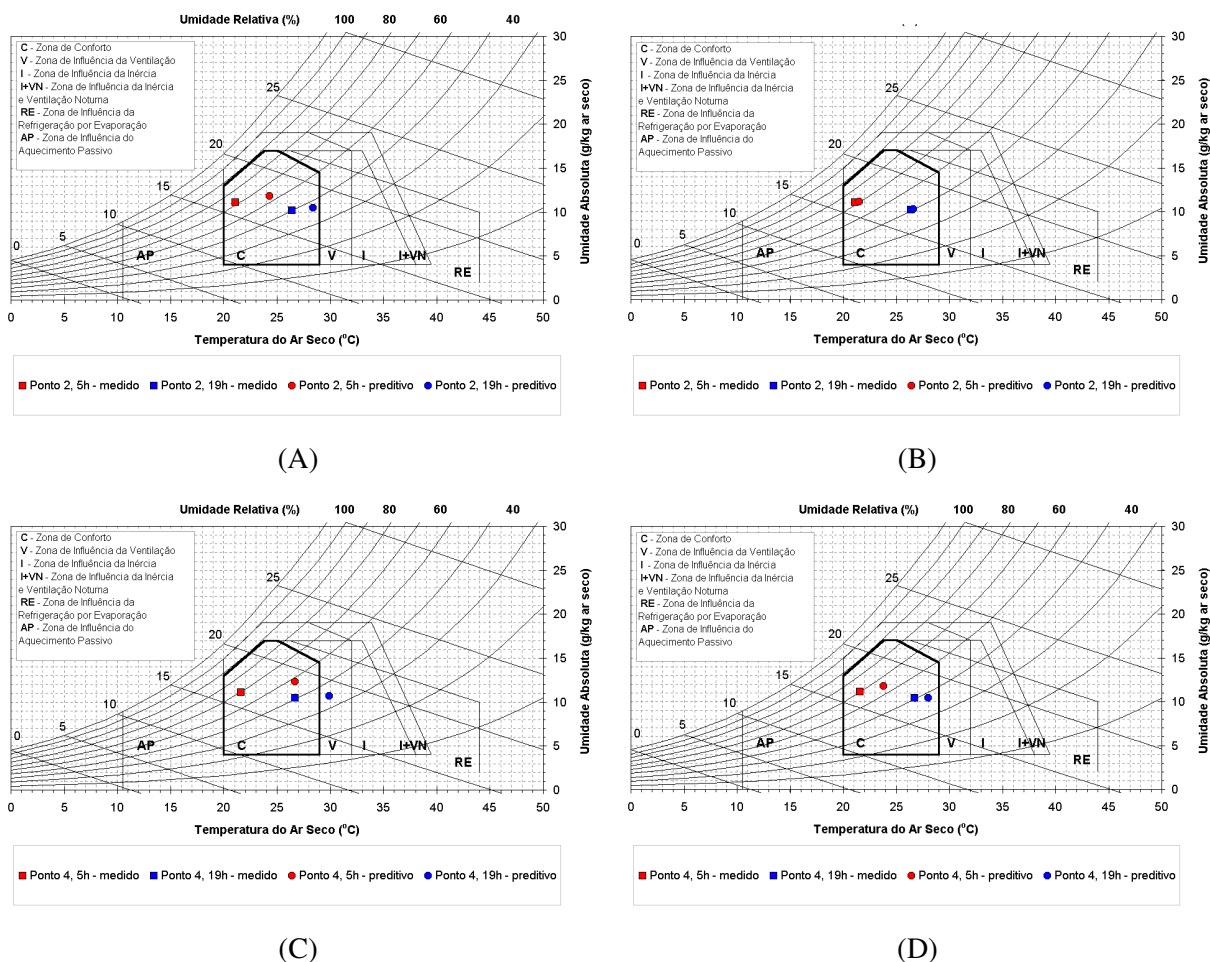


Figura 8– Dados de T e UR plotados no DBG para: Cenário A - Ponto 2 (A), Cenário B - Ponto 2 (B), Cenário A - Ponto 4 (C), Cenário B - Ponto 4 (D)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido mostrou o potencial de aplicação de modelos preditivos empíricos na avaliação dos impactos causados pelo desenvolvimento urbano, e particularmente originados da legislação de uso e ocupação do solo, na mudança climática e na alteração das condições locais de conforto térmico. Entretanto, o desenvolvimento urbano de uma área não é apenas função das legislações construtivas, sofrendo também a influência dos cenários macroeconômicos. Assim, observa-se a importância do monitoramento das condições ambientais urbanas para gerar subsídios úteis ao planejamento e projeto urbanos.

O modelo gerado a partir da inércia térmica de uma área urbana mostrou ser de fácil desenvolvimento e aplicação, através da implementação de simples planilhas de cálculo ou, no caso da estimativa de um grande número de pontos, do uso de um sistema de informações geográficas (SIG). Entretanto, é necessário pesquisar o peso que cada variável tem nas condições do balanço energético local. No caso da área de estudo, o bairro Floresta em Belo Horizonte, MG, a influência da geometria urbana é mais significativa que a da inércia (PEREIRA, 2005), indicando que o estudo deve ser complementado pela abordagem conjunta desses dois aspectos.

Por outro lado, sendo o modelo empírico, sua validade fica restrita ao local para onde foi produzido. Contudo, o procedimento desenvolvido pode ser aplicado a outras áreas da cidade e, mesmo, a outras

cidades, gerando resultados próprios. Assim, pode ser usado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão em planejamento urbano, contribuindo para o aperfeiçoamento da legislação construtiva.

7 REFERÊNCIAS

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal. **Legislação urbanística de Belo Horizonte**: Plano diretor, lei n.7165 de 27 de agosto de 1996, parcelamento, ocupação e uso do solo urbano, lei n.7166 de 27 de agosto de 1996. Belo Horizonte, 1996. 301 p.

LIMA, H. G. **Materiais de Construção e o Ambiente Térmico Urbano: aplicação de um modelo de balanço energético em um bairro de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 2003. 70 p. (Monografia, Programa de Aprimoramento Discente, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo).

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations, **Journal of Climatology**, n. 1, 1981, p. 237-254.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 108, 1982, p. 1-24.

PEREIRA, A. C. R. **Integração das Variáveis Fator de Visão do Céu e Massa Construída num Modelo Empírico para a Estimativa da Variação Topoclimática de Temperatura e Umidade em Ambiente Urbano**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 40 p. (Monografia, Programa de Aprimoramento Discente, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo).

SANTOS, I. G.; LIMA, H. G.; ASSIS, E. S., Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, **Anais Eletrônicos...** Curitiba: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2003.

TEIXEIRA, Rachel P. V. B. *et al.* **Prognóstico para o bairro Floresta: aplicação da técnica dos cenários**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. 43 p. (Monografia, Programa de Aprimoramento Discente, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo).

TSO, C. P. et al. An improvement to the energy balance model for urban thermal environment analysis, **Energy and Buildings**, n.14, 1990, p. 143-152.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, patrocinadora do Programa de Aprimoramento Discente (PAD), dentro do qual este trabalho foi desenvolvido.